

**KINERJA MEDIA PEMBAWA UNTUK SURFAKTAN MES DARI MINYAK SAWIT UNTUK
PENERAPANNYA PADA OIL WELL BORE CLEANING****PERFORMANCE OF CARRYING MEDIUM FOR PALM OIL MES SURFACTANT IMPLEMENTED IN
OIL WELL BORECLEANING****Fitria Riany Eris^{1)*}, Erliza Hambali^{2,4)}, Ani Suryani^{2,4)}, Pudji Permadi^{3,4)}**¹⁾Jurusan Agroekoteknologi, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jalan Raya Jakarta Km 04, Serang, Banten
Email: fitria.eris@untirta.ac.id²⁾Departemen Teknologi Industri Pertanian, FATETA IPB³⁾Departemen Teknik Perminyakan, ITB⁴⁾Surfactant and Bioenergy Research Center, LPPM, IPB

Makalah: Diterima 10 Februari 2016; Diperbaiki 30 April 2016; Disetujui 6 Mei 2016

ABSTRACT

Well productivity can be significantly affected by the number of skin in the wellbore area. One of the alternative ways to solve the problem is oil well bore cleaning application by using methyl ester sulfonate (MES) surfactant. Surfactants need a carrying medium and in this study the utilization of diesel and biodiesel as a carrier was assessed. Surfactant was formulated with NaCl and aromatic solvents and its effect on interfacial tension (IFT), thermal stability, phase behaviour, and wettability alteration were measured. The best oil-based surfactant solution was obtained from the formulation of 5% MES surfactant with 5% xylene inclusion to biodiesel as the carrying medium. This solution was then injected into an injection water which was already added in with 1% NaCl. It was found that biodiesel could be used as a substitute for diesel as a carrying medium in oil wellbore cleaning activity on well X as the resulted surfactant solution was able to maintain IFT values until day seven, form microemulsion with an IFT value of 1.12×10^{-2} dyne/cm, and alter wettability of rocks toward water-wet.

Keywords: palm oil, surfactant, MES, oil well bore cleaning

ABSTRAK

Permasalahan yang umum dihadapi industri perminyakan pada saat produksi minyak adalah penyumbatan partikel pada lubang dasar sumur atau disebut dengan *skin*. Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk mengurangi nilai tersebut adalah dengan teknik *well bore cleaning* dengan menggunakan surfaktan metil ester sulfonat (MES). Surfaktan membutuhkan media pembawa, dalam penelitian ini diujikan pemanfaatan diesel dan biodiesel sebagai media pembawa, selanjutnya surfaktan diformulasikan dengan NaCl dan pelarut aromatik dan dianalisis pengaruhnya terhadap tegangan antarmuka (IFT), ketahanan panas, kelakuan fasa, dan perubahan *wettability*. Larutan surfaktan *oil-based* terbaik diperoleh dari formulasi surfaktan MES 5% dengan penambahan xilena 5% pada media pembawa biodiesel, larutan ini kemudian diinjeksikan ke dalam air formasi yang telah ditambahkan NaCl sebanyak 1%. Media pembawa biodiesel dapat digunakan sebagai alternatif pengganti diesel sebagai media pembawa pada kegiatan *well bore cleaning* pada sumur X karena larutan surfaktan yang dihasilkan mampu mempertahankan nilai IFT hingga hari ketujuh, membentuk mikroemulsi dengan nilai IFT $1,12 \times 10^{-2}$ dyne/cm dan mampu mengubah *wettability* batuan menjadi cenderung *water-wet*.

Kata kunci: minyak sawit, surfaktan, MES, oil well cleaning

PENDAHULUAN

Data BP Global-Statistical Review of World Energy (2015), produksi minyak bumi Indonesia pada tahun 2014 hanya sekitar 852.000 barel/hari, sedangkan konsumsi mencapai 1.641.000 barel/hari. Dengan demikian terdapat kekurangan pasokan untuk kebutuhan dalam negeri sebesar 789.000 barel/hari yang harus dipenuhi melalui impor. Salah satu penyebab produktivitas yang rendah adalah adanya pengendapan parafin dan *asphaltene* pada lubang sumur.

Parafin terbentuk akibat adanya penurunan temperatur di bawah *pour point*, sehingga parafin akan membentuk padatan dan menghambat aliran minyak. *Asphaltene* dapat menyebabkan kerusakan formasi karena *asphaltene* dapat mengendap dan menyebabkan penyumbatan pada formasi. *Asphaltene* adalah fraksi berat minyak bumi yang larut di dalam pelarut hidrokarbon aromatik, seperti toluena, benzena, dan xilena, namun tidak larut di dalam senyawa hidrokarbon alifatik rantai pendek (Ortiz *et al.*, 2010). Penggumpalan *asphaltene* biasanya terjadi di sekitar lubang dasar sumur yang terjadi jika gas alam bercampur dengan minyak

*Penulis untuk korespondensi

mentah yang berasal dari *reservoir* yang berbeda. Selain itu, menurut Allen dan Roberts (1984) *asphaltene* juga dapat menyebabkan batuan formasi bersifat *oil-wet*.

Upaya untuk mengurangi pengendapan pada lubang dasar sumur akibat parafin dan *asphaltene* yaitu dengan teknik *oil well bore cleaning*. *Oil well bore cleaning* dilakukan dengan cara menginjeksikan larutan surfaktan ke dalam sumur hidrokarbon dan *soaking* beberapa saat untuk melarutkan material pada lubang perforasi. Menurut Frenier dan Ziauddin (2008) dan Zhang *et al.* (2011), salah satu upaya untuk mengatasi masalah pengendapan parafin dan *asphaltene* adalah dengan injeksi secara langsung bahan kimia yang berfungsi sebagai *inhibitor* presipitasi ke dalam sumur produksi.

Surfaktan untuk *oil well bore cleaning* berperan penting untuk menurunkan tegangan antarmuka (IFT), mencegah pembentukan emulsi dan mampu memecah emulsi yang telah terbentuk sebelumnya, menjadikan batuan *reservoir* bersifat *water-wet*, mengecilkan *droplet* minyak dalam air, menstabilkan dispersi butiran minyak dan membersihkan sumur minyak, sehingga memudahkan proses pengaliran minyak ke lubang sumur (Karnanda *et al.*, 2012). Untuk stimulasi sumur minyak bumi telah dimanfaatkan surfaktan fosfat ester dengan nomor US Patent 4541483. Fosfat ester atau *Alkyl and aralkyl polyoxyalkylene phosphate* dapat diinjeksikan ke sumur minyak bumi baik sebagai pelarut yang bersifat dapat larut pada air (*water soluble*) maupun minyak (*oil soluble*). Selain itu ada pula petroleum sulfonat (Smith *et al.*, 2005), olefin sulfonat (Hutchison *et al.*, 2010), lignosulfonat (Kalfoglou, 1982) yang juga digunakan untuk stimulasi. Selama ini surfaktan yang biasa digunakan adalah surfaktan berbasis petroleum. Surfaktan ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya, kinerjanya menurun pada salinitas air formasi yang tinggi, deterjensinya menurun pada suhu yang tinggi dan tidak terbarukan serta kurang ramah lingkungan. Sehingga perlu dicari alternatif surfaktan yang lebih ramah lingkungan dan bersifat dapat diperbaharui seperti Metil Ester Sulfonat (MES).

Menurut Junior *et al.* (2006), berdasarkan sifat kimianya, minyak nabati dapat dikatakan sangat kompatibel (*chemically compatible*) dengan minyak bumi, sangat mudah larut dan dapat digunakan sebagai pencegah pengendapan parafin dan *asphaltene* tanpa menurunkan kualitas minyak bumi. Surfaktan MES sangat prospektif untuk dikembangkan di Indonesia karena ketersediaan bahan baku minyak sawit yang banyak. Menurut data Direktorat Jenderal Perkebunan (2014), produksi minyak sawit Indonesia pada tahun 2014 mencapai 29,4 juta ton, hal ini menunjukkan bahwa Indonesia mempunyai peluang untuk mengembangkan surfaktan yang sangat dibutuhkan

oleh industri perminyakan. Pemanfaatan minyak sawit menjadi surfaktan MES dapat dilakukan mengingat kandungan asam lemak C16 dan C18 (asam palmitat, asam stearat, dan asam oleat) mempunyai sifat deterjensi yang sangat baik. Selain itu surfaktan MES memiliki kelebihan dibandingkan surfaktan berbasis petrokimia, diantaranya: bersifat terbarukan, biaya produksi lebih rendah (sekitar 57%) dari biaya produksi surfaktan dari petrokimia (linier alkilbenzen sulfonat, LAS), karakteristik dispersi yang baik, sifat deterjensi yang baik, pada konsentrasi MES yang lebih rendah daya deterjensinya sama dengan petroleum sulfonat, larut dalam pelarut organik dan anorganik (Watkins, 2001). Berdasarkan kelebihan itu, maka surfaktan MES dapat diaplikasikan sebagai *oil well bore cleaning agent* pada sumur-sumur minyak bumi yang mengandung parafin dan *asphaltene*.

Pemanfaatan surfaktan sebagai *oil well bore cleaning agent* membutuhkan media pembawa (*carrier*) dan aditif. Proses pencampuran surfaktan dengan media pembawa dan aditif merupakan proses yang sangat kompleks dan harus disesuaikan dengan sifat fluida dan batuan *reservoir* (Curbelo *et al.*, 2007). Media pembawa yang biasa digunakan dalam kegiatan *oil well bore cleaning* adalah minyak diesel. Pemilihan aditif dilakukan untuk menentukan jenis dan konsentrasi aditif terbaik dapat larut dalam minyak sebagai *oil-based cleaning agent*. Masing-masing aditif yang ditambahkan dalam formula surfaktan memiliki fungsi masing-masing, seperti penambahan garam (NaCl) berfungsi untuk mendapatkan salinitas optimal sehingga diperoleh nilai tegangan antarmuka yang rendah (Webb *et al.*, 2004; Secombe *et al.*, 2008; Quintero *et al.*, 2012), penambahan pelarut aromatik berguna untuk melarutkan parafin dan *asphaltene* yang mengendap pada formasi (Allen dan Robert, 1984; Li *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2012).

Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja media pembawa diesel dan biodiesel bagi surfaktan MES dari minyak sawit untuk aplikasi *oil well bore cleaning* di *reservoir sandstone* lapangan X. Uji kinerja terdiri dari uji ketahanan panas, uji *wettability* dan uji kelakuan fasa. Formulasi bahan kimia yang tepat, diharapkan dapat menjadi solusi dalam pemecahan masalah pengendapan di lubang dasar sumur.

BAHAN DAN METODE

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah surfaktan MES yang terbuat dari minyak sawit diperoleh dari Surfactant and Bioenergy Research Center (SBRC) IPB, biodiesel dan diesel. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah reaktor sulfonasi, *vortex mixer*, *hotplate stirrer*, tangki pemurnian, termometer, timbangan analitik, peralatan gelas, pipet, dan oven. Peralatan yang

digunakan untuk analisa yaitu *spinning drop interfacial tensiometer* dan pH meter.

Metode

Analisis Sifat Fisikokimia

Analisis sifat fisikokimia dilakukan terhadap surfaktan anionik MES dan analisis fluida formasi untuk diketahui kesesuaiannya dalam aplikasi untuk *oil well bore cleaning*. Uji yang dilakukan meliputi pH (pH-meter Schott), kandungan bahan aktif (Titration Kationik Epton 1948), viskositas (Rheometer Brookfield DV-III Ultra), pH (BSI, 1996), dan densitas (*Density Meter* DMA 4500M Anton Paar).

Penentuan Konsentrasi Surfaktan MES Terhadap Media Pembawa

Surfaktan MES dengan konsentrasi 0 – 6% pada interval 1%, dilarutkan ke dalam media pembawa biodiesel dan diesel, kemudian diaduk dengan menggunakan *stirrer* selama 1 jam pada suhu *reservoir*. Setelah satu jam, dilakukan pengukuran densitas larutan dan kemudian dilakukan pengukuran tegangan antarmuka. Penentuan konsentrasi dilakukan dengan melihat perbandingan konsentrasi surfaktan dalam media pembawa terhadap nilai tegangan antarmuka (IFT) yang dihasilkan dengan menggunakan *critical micelle concentration* (CMC) sebagai parameter.

Formulasi Surfaktan untuk Aplikasi Oil Well Bore Cleaning

Pada tahapan ini dilakukan formulasi antara larutan surfaktan MES yang telah dilarutkan dalam media pembawa dengan aditif pada konsentrasi tertentu. Aditif berupa NaCl (konsentrasi 0 – 2% dengan selang 0,5%) dan pelarut aromatik (xilena dan toluena dengan konsentrasi 5, 10, dan 15%). Analisis yang dilakukan yaitu uji IFT. Uji IFT menggunakan *spinning drop tensiometer*. Uji IFT dilakukan untuk mengetahui kinerja surfaktan dalam menurunkan tegangan antarmuka minyak-air. Larutan surfaktan yang mempunyai kinerja baik adalah larutan yang mampu menurunkan tegangan antarmuka sebesar $<10^{-2}$ dyne/cm. Larutan terbaik yang dipilih yaitu larutan surfaktan MES yang mampu memberikan penurunan tegangan antarmuka fluida terendah.

Uji Kinerja Formula Surfaktan untuk Aplikasi Oil Well Bore Cleaning

Uji kinerja formula surfaktan untuk aplikasi *oil well bore cleaning* meliputi: uji ketahanan panas, uji *wettability* dan uji kelakuan fasa.

Uji Ketahanan Panas (*thermal stability test*)

Uji dilakukan dengan memanaskan larutan surfaktan MES pada suhu *reservoir* Lapangan X (suhu 60°C) selama tujuh hari di dalam oven. Larutan surfaktan diharapkan mampu

mempertahankan nilai IFT hingga hari ketujuh atau minimal masih berada pada nilai 10^{-2} dyne/cm. Setiap hari dilakukan pengamatan terhadap larutan surfaktan dan pengukuran nilai IFT. Pengamatan ini dilakukan untuk melihat kecenderungan perubahan nilai tegangan antarmuka yang terjadi selama pemanasan pada suhu *reservoir* berlangsung.

Uji Kelakuan Fasa

Tahapan pengujian kelakuan fasa adalah sampel air formasi dan larutan surfaktan yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam ampul 50 mL dengan perbandingan antara sampel larutan surfaktan MES: air formasi sebesar 80:20 (v/v). Kemudian sampel tersebut disimpan di dalam oven sesuai dengan suhu *reservoir* (60°C) selama 60 menit (*soaking*) dan dilakukan pengamatan visual sebelum pengadukan. Setelah itu *rotary mixingoven* dihidupkan dengan kecepatan 6 rpm pada suhu *reservoir*. Sampel dikeluarkan dari *rotary mixingoven* pada 10, 60, 120, 240, dan 1440 menit dan dilakukan pengamatan visual.

Uji Wettability

Uji ini dilakukan dalam tiga tahap yaitu tahap pertama adalah merendam batuan formasi yang telah dicuci dengan *core extraction* di dalam air formasi pada suhu *reservoir* selama enam jam. Kemudian batuan diukur nilai sudut kontakannya dengan meneteskan minyak bumi di permukaannya. Tahap kedua adalah batuan direndam dalam minyak lapangan X selama enam jam kemudian dicuci dalam air formasi dan direndam dalam larutan surfaktan selama enam jam pada suhu *reservoir*. Tahap ketiga adalah perendaman batuan tersebut dengan air formasi lapangan pada suhu *reservoir* selama enam jam dan diukur kembali sudut kontakannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sifat Fisikokimia Surfaktan Anionik MES

Surfaktan MES yang digunakan disintesis dari metil ester yang direaksikan dengan reaktan gas SO₃ pada suhu 90 - 100°C menggunakan reaktor sulfonasi. Hasil analisis sifat fisikokimia surfaktan MES disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sifat fisikokimia surfaktan MES

Parameter	Hasil
Nilai pH	6,39
Kadar bahan aktif (%)	23,51
Densitas (g/cm ³)	0,9403
Viskositas (cP)	25,5

Nilai pH adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan. Untuk memperoleh surfaktan MES dilakukan netralisasi menggunakan NaOH 50% terhadap MESA. MESA (*Methyl Ester Sulfonic Acid*) diproduksi melalui

proses sulfonasi *fatty acid methyl ester* (FAME) yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi olein minyak sawit. Selama proses netralisasi gugus Na^+ akan terikat pada gugus sulfonat surfaktan sehingga menyebabkan pH MES netral. Hasil analisa pH MES yang diperoleh adalah 6,39.

Kadar bahan aktif menunjukkan jumlah gugus SO_3 yang terkandung dalam surfaktan, apabila kandungan bahan aktif surfaktan tinggi maka kinerja surfaktan tersebut akan baik. Pengukuran kadar bahan aktif surfaktan anionik didasarkan pada reaksi antagonis dengan surfaktan kationik yang memiliki muatan berlawanan sehingga membentuk garam yang tidak larut air. Garam yang terbentuk bergerak menuju kloroform dan membentuk warna biru. Setelah titrasi dengan surfaktan kationik dilakukan, warna biru pada lapisan kloroform tersebut bergerak menuju lapisan surfaktan hingga mencapai titik akhir titrasi dimana intensitas warna pada kedua lapisan menjadi sama. Teknik ini dikenal dengan titrasi dua fasa atau metode Epton (Rivai, 2011). Kadar bahan aktif yang diperoleh dari hasil analisis adalah 23,51%.

Densitas adalah bobot suatu cairan per berat satuan volume. Densitas diukur untuk mengetahui kerapatan antar molekul dalam material. Densitas umumnya berkaitan dengan viskositas, dimana cairan yang lebih rapat memiliki viskositas lebih tinggi. Semakin tinggi nilai viskositas maka semakin tinggi pula tingkat kekentalan suatu fluida. Analisis densitas diperlukan karena nilai densitas yang diperoleh digunakan pada analisis IFT pada alat tensiometer. Hasil analisis terhadap densitas menunjukkan densitas dan viskositas MES masing-masing adalah 0,9403 g/cm^3 dan 25,5 cP.

Karakteristik Fluida Formasi

Fluida formasi terdiri dari minyak mentah dan air formasi. Air formasi adalah air yang terkumpul bersama minyak dan gas di dalam lapisan *reservoir*, terletak pada kedalaman lebih dari 1000 m dan terletak di bawah zona minyak. Air formasi itu sendiri merupakan fluida *reservoir* yang tercampur dan terangkat bersama minyak bumi ke permukaan

yang bersifat asin dengan salinitas rata-rata di atas air laut. Air injeksi adalah air yang telah diolah untuk diinjeksikan ke dalam sumur minyak untuk meningkatkan produktivitas minyak. Air injeksi dapat berupa air laut, air formasi yang telah diolah kembali, dan air sekitar sumur. Selain air formasi, fluida yang berasal dari *reservoir* adalah minyak mentah. Hasil analisis fluida formasi dan air injeksi lapangan X disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Karakteristik minyak lapangan X

Parameter	Hasil
Wujud (pada suhu ruang)	Padat
Warna	Hitam Pekat
Densitas (g/cm^3)	0,8008
Viskositas (cP)	2,77

Hasil karakterisasi pada Tabel 2 menunjukkan minyak mentah dari *reservoirs and stone* lapangan X memiliki wujud padat pada suhu ruang dan warna yang hitam pekat. Wujud padat dari minyak lapangan X mengindikasikan tingginya kandungan *asphaltene* dan parafin pada minyak lapangan X (Hardikin *et al.*, 2009).

Karakterisasi air formasi dan air injeksi lapangan X menunjukkan kandungan ion paling banyak adalah ion natrium (Na^+) dan ion klorida (Cl^-). Kedua ion ini dapat bereaksi membentuk suatu garam yang disebut garam NaCl , sehingga kadar garam untuk air injeksi dan formasi lapangan X cukup tinggi. Ion kalsium (Ca^{2+}) yang terkandung dalam air injeksi dan formasi lapangan X dapat bereaksi dengan ion karbonat membentuk padatan yang tersuspensi yang dapat menyebabkan kerusakan formasi. Ion barium yang terkandung dalam fluida formasi dapat bereaksi dengan ion sulfat membentuk BaSO_4 yang tidak dapat larut dalam air. Walaupun dalam jumlah yang tidak cukup banyak, tetapi endapan ini dapat menimbulkan permasalahan. Pembentukan endapan barium sulfat (BaSO_4) ini dapat menyumbat aliran minyak pada batuan *reservoir* dan sulit untuk dibersihkan.

Tabel 3. Karakteristik air formasi dan air injeksi lapangan X

Parameter	Air Formasi	Air Injeksi
pH	7,98	7,43
Salinitas (ppm)	2087	1930,66
Hardness (mg/L)	106,05	123,05
klorida, Cl^- (mg/L)	1267,57	1172,60
HCO_3^- (mg/L)	294,91	301,32
Sulfat, SO_4 (mg/L)	0	11
NH_4^+ (mg/L)	0,093	0,067
Kalium, K (mg/L)	13,47	20,87
Barium, Ba (mg/L)	52	34,51
Iron, Fe (mg/L)	Nil	0,30
Natrium, Na (mg/L)	744,5	627
Magnesium, Mg (mg/L)	5,65	5,45
Kalsium, Ca (mg/L)	100,4	117,6

Konsentrasi Surfaktan MES Terhadap Media Pembawa

Proses formulasi diawali dengan melarutkan surfaktan MES dengan konsentrasi 0 hingga 6% pada media pembawa *oil-based* yaitu diesel dan biodiesel dan kemudian dilihat respon tegangan antarmuka antara air formasi dengan media pembawa yang digunakan setelah penambahan surfaktan. Grafik hubungan MES dalam media pembawa diesel dan biodiesel dengan tegangan antarmuka (IFT) yang dihasilkan disajikan pada Gambar 1.

Pemanfaatan biodiesel sebagai media pembawa menghasilkan nilai IFT yang sama baiknya dengan diesel sebagai media pembawa yang umum digunakan, hal ini menunjukkan pemanfaatan biodiesel sebagai media pembawa dapat menjadi alternatif dalam *oil well bore cleaning* mengingat sifat biodiesel yang ramah lingkungan. Nilai IFT yang dihasilkan yaitu $3,34 \times 10^{-1}$ sampai dengan $7,42 \times 10^{-1}$ dyne/cm pada *reservoir sandstone* lapangan X, dimana konsentrasi surfaktan 5% memberikan nilai IFT terendah yaitu $2,54 \times 10^{-1}$ dan $2,54 \times 10^{-1}$ dyne/cm masing-masing pada media pembawa biodiesel dan diesel. Larutan surfaktan yang telah dilarutkan pada media pembawa tersebut belum mampu menurunkan tegangan antarmuka minyak-air mencapai nilai terendah yang mencapai nilai *ultra-low interfacial tension* ($\leq 10^{-3}$ dyne/cm). Nilai IFT yang sangat rendah akan memperbesar nilai *capillary number* sehingga pelarutan parafin dan *asphaltene* pada *reservoir* dapat dilakukan. Untuk mendapatkan nilai IFT yang sangat rendah, larutan surfaktan MES selanjutnya perlu dilakukan formulasi dengan aditif.

Formulasi Surfaktan untuk Aplikasi Oil Well Bore Cleaning

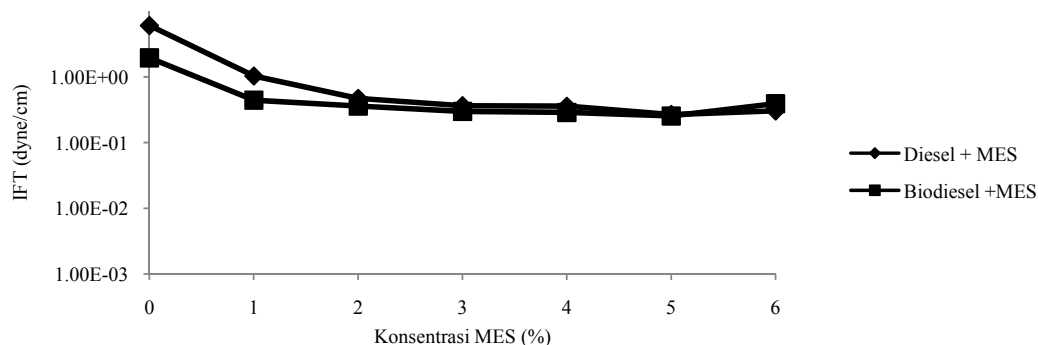
Pengaruh penambahan NaCl pada formulasi surfaktan untuk aplikasi oil well bore cleaning

Untuk menghasilkan formula surfaktan yang sesuai dengan karakteristik yang disyaratkan

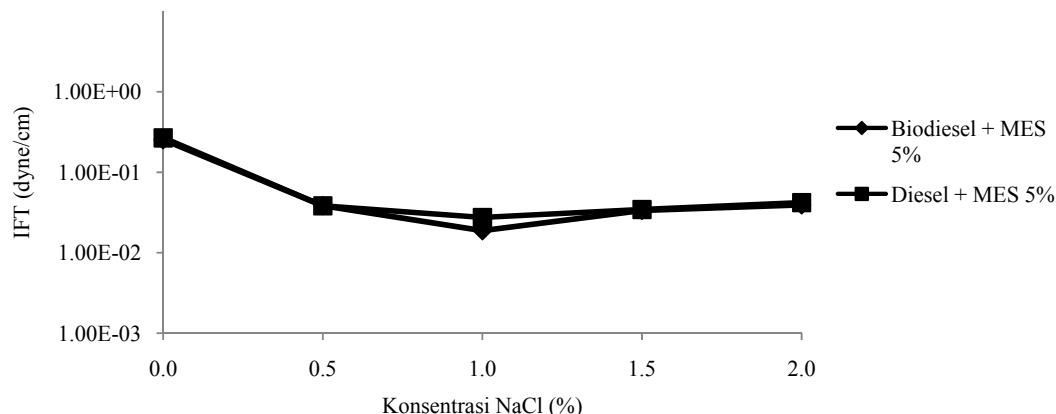
oleh industri perminyakan, maka dilakukan formulasi dengan mengkombinasikan surfaktan MES yang dihasilkan dengan bahan aditif lain berupa garam, dan pelarut yang sesuai agar dihasilkan formula yang mampu memberikan kinerja terbaik untuk aplikasi *oil well bore cleaning*.

Nilai IFT formulasi surfaktan berbasis minyak sawit 5% dengan media pembawa *oil-based* pada sumur X yaitu $3,34 \times 10^{-1}$ sampai dengan $7,42 \times 10^{-1}$ dyne/cm menunjukkan nilai yang besar dan belum memenuhi syarat sebagai nilai tegangan antarmuka bagi formula untuk *oil well bore cleaning*, oleh sebab itu perlu dilakukan penambahan aditif pada air formasi untuk menurunkan nilai tegangan antarmuka. Untuk mendapatkan nilai tegangan antarmuka minyak-air yang sangat rendah diperlukan salinitas yang optimal (Healy dan Reed, 1974). Hemeida dan Gawish (2008) memanfaatkan air formasi dengan penambahan garam dan surfaktan petrokimia untuk mengatasi kerusakan formasi akibat komplasi. Penambahan garam pada air formasi pada sumur X diharapkan menghasilkan nilai IFT yang rendah dalam formulasi. Pemilihan salinitas dilakukan dengan menambahkan NaCl kedalam air formasi dari masing-masing sumur sebanyak 0 hingga 2,0% dengan interval 0,5%.

Penambahan NaCl sebanyak 1% terhadap air formasi lapangan X terhadap surfaktan MES 5% mampu menurunkan nilai IFT hingga $2,60 \times 10^{-2}$ dyne/cm bila dibandingkan tanpa penambahan NaCl yaitu $3,59 \times 10^{-1}$ dyne/cm (Gambar 2). Salinitas optimal yang mampu menurunkan nilai IFT adalah pada penambahan NaCl sebesar 1% pada air formasi *reservoirs and stone* lapangan X. Penurunan nilai tegangan antarmuka yang terjadi karena NaCl selain merupakan elektrolit kuat yang bila terlarut dalam air akan terurai sempurna menjadi ion Na^+ dan Cl^- , juga mempunyai gerak Brown dipermukaan yang lebih besar dari gerak Brown pada air. Gerak Brown ialah gerakan partikel-partikel koloid yang senantiasa bergerak lurus tapi tidak menentu (gerak acak/tidak beraturan).



Gambar 1. Nilai IFT pada berbagai konsentrasi surfaktan dengan media pembawa *oil-based* pada *reservoir sandstone* lapangan X



Gambar 2. Pengaruh penambahan NaCl pada air formasi *reservoir sandstone* lapangan X terhadap nilai IFT formula surfaktan 5% dengan media pembawa biodiesel dan diesel

Pengaruh Konsentrasi Pelarut Aromatik pada Formulasi Surfaktan untuk Aplikasi Oil Well Bore Cleaning

Pemanfaatan pelarut aromatik yaitu toluena atau xilena adalah untuk melarutkan *asphaltene* yang mengendap dalam formasi. Menurut Allen dan Robert (1984), *asphaltene* memiliki sifat tidak larut dalam hidrokarbon berantai lurus seperti diesel, minyak tanah dan kebanyakan kondensat. Toluena dan xilena juga memiliki kemampuan untuk melarutkan parafin yang mungkin juga mengendap bersama *asphaltene*. Hardikin *et al.* (2009) melakukan stimulasi kimia berupa formulasi minyak, parafin *solvent*, surfaktan dan *mutual solvent* untuk membersihkan lubang perforasi dan formasi akibat endapan parafin.

Pada larutan MES dengan konsentrasi salinitas optimal kemudian dicampurkan pelarut aromatik dengan konsentrasi yaitu 0 hingga 20% dengan interval 5%. Hasil pengukuran pengaruh penambahan pelarut aromatik dengan nilai IFT pada media pembawa diesel dan biodiesel dapat dilihat pada Gambar 3.

Penambahan xilena sebanyak 5% mampu menurunkan IFT pada kedua formula *oil-based* dengan media pembawa biodiesel dan diesel, namun penambahan xilena lebih dari 5% meningkatkan kembali nilai IFT. Sedangkan untuk penambahan toluena, nilai IFT yang rendah didapat dengan penambahan lebih dari 15% pada kedua formula *oil-based* dengan media pembawa biodiesel dan diesel. Surfaktan MES berinteraksi dengan *asphaltene* melalui interaksi asam basa. Abrahamsen (2012) yang melaporkan bahwa senyawa yang sangat asam dapat terikat pada gugus amin atau hidroksil partikel *asphaltene* melalui ikatan hidrogen sehingga menghasilkan interaksi yang sangat kuat.

Penanggulangan masalah *asphaltene* dan parafin akibat kerusakan formasi pada lubang dasar sumur minyak bumi diatasi dengan menggunakan

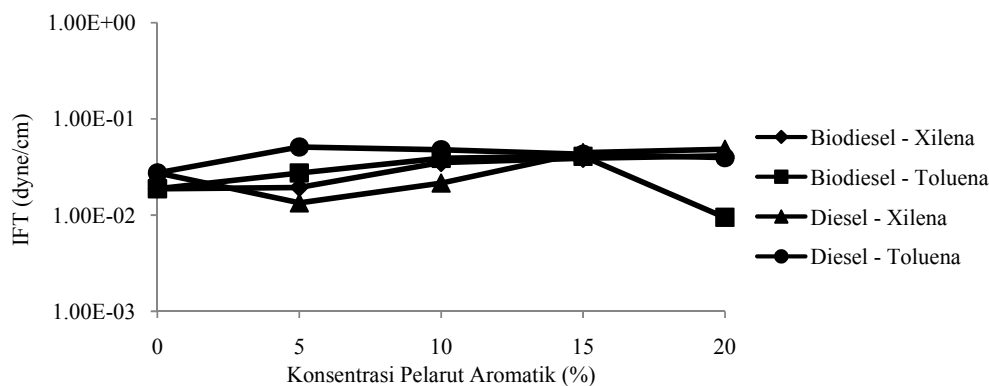
scale inhibition dan *wax/scale removal* melalui injeksi langsung. *Scale inhibition* dan *wax/scale removal* yang paling umum digunakan berasal dari golongan hidrokarbon aromatik seperti xilena, benzena atau toluena (Li *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2012), namun penggunaan pelarut xilena atau toluena tanpa penambahan surfaktan dan solvenhnya menghilangkan sekitar 50% endapan *asphaltene*, sedangkan molekul *asphaltene* yang sangat polar masih menutupi bagian permukaan. Oleh sebab itu formulasi surfaktan dengan xilena atau toluena digunakan sebagai alternatif bahan yang dapat membantu mencegah kerusakan formasi akibat pengendapan *asphaltene* dan parafin pada sumur minyak bumi.

Uji Kinerja Surfaktan MES Untuk Aplikasi Oil Well Bore Cleaning

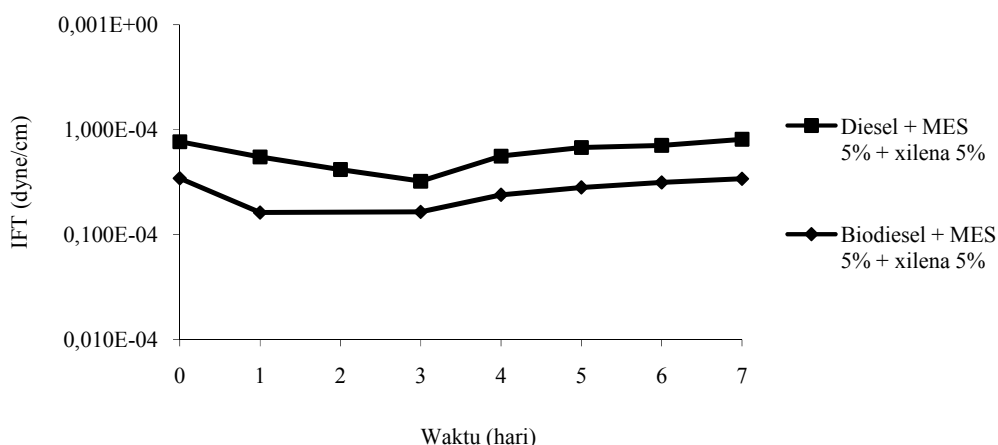
Larutan surfaktan yang dihasilkan sebagai *oil well bore cleaning agent* selanjutnya dilakukan uji kinerjanya. Larutan surfaktan dengan konsentrasi MES terbaik, salinitas optimal dan konsentrasi pelarut aromatik terbaik dilihat kinerjanya dalam ketahanan formula pada suhu panas, kemampuan mengubah sifat kebasahan batuan dan pembentukan emulsi. Uji yang dilakukan adalah uji ketahanan panas, *wettability*, dan kelakuan fasa.

Uji Ketahanan Panas

Uji ketahanan panas dilakukan untuk melihat kecenderungan perubahan nilai tegangan antarmuka yang terjadi selama pemanasan pada suhu *reservoir* berlangsung. Hasil analisis tegangan antarmuka formula surfaktan pada media pembawa biodiesel dan diesel setelah pengujian ketahanan panas dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil analisis IFT pada uji stabilitas termal menunjukkan nilai IFT formula surfaktan dengan media pembawa biodiesel menunjukkan kestabilan terhadap panas yang sama dengan media pembawa diesel.



Gambar 3. Grafik pengaruh pelarut aromatik terhadap nilai IFT pada media pembawa biodiesel dan diesel

Gambar 4. Grafik uji ketahanan panas formula surfaktan *oil-based* pada suhu *reservoir sandstone* lapangan X (suhu 60 °C)

Kedua formula surfaktan *oil-based* yang diujikan kestabilannya terhadap termal masih mampu mempertahankan nilai tegangan antarmukanya sampai hari ke 7 hal ini ditunjukkan dengan nilai IFT masih pada angka 10^{-2} dyne/cm hingga hari ke 7, meskipun sejak hari ke 3 terjadi peningkatan nilai IFT. Peningkatan ini dapat terjadi akibat melemahnya gaya antar molekul pada antarmuka larutan minyak/surfaktan (Aoudia *et al.*, 2006). Nilai IFT yang dihasilkan oleh surfaktan MES sejak hari ke 3 semakin meningkat seiring dengan semakin lamanya waktu pemanasan. Hidayati (2015) melaporkan bahwa meningkatnya nilai IFT ini terjadi akibat terdegradasinya gugus sulfonat pada ikatan hidrofilik MES menjadi senyawa-senyawa yang memiliki berat molekul lebih kecil yang mengakibatkan kemampuan MES dalam menurunkan tegangan antarmuka menjadi menurun.

Hasil penelitian Hidayati (2011) menunjukkan bahwa pemanasan MES dari minyak biji jarak pada suhu 150°C selama 72 jam dapat menyebabkan proses perubahan komposisi asam lemak dimana terjadi penurunan asam oleat dan peningkatan komposisi asam lemak dengan berat

molekul yang lebih rendah. Panjang pendeknya rantai asam lemak berpengaruh terhadap karakteristik MES. Apabila rantai hidrofobiknya terlalu pendek, komponen tidak akan terlalu bersifat aktif permukaan (*surface active*) karena ketidakcukupan gugus hidrofobik dan akan memiliki keterbatasan kelarutan dalam minyak. Panjang rantai terbaik untuk surfaktan adalah asam lemak dengan 10-18 atom karbon. Peningkatan suhu dan lama sulfonasi menyebabkan minyak terdekomposisi membentuk aldehid, keton, asam-asam, alkohol dan hidrokarbon sehingga komponen yang terbentuk rendah dan berat jenis minyak yang dihasilkan juga rendah sehingga berpengaruh terhadap pembentukan stabilitas emulsi yang rendah

Proses *oil well bore cleaning* dilakukan dengan caramenginjeksikan larutan surfaktan ke dalam sumur dan mendingkan larutan dalam sumur selama 12 hingga 48 jam (Allen dan Robert, 1984). Kedua formula menunjukkan bahwa formula dapat diaplikasikan sebagai *oil well bore cleaning agent* karena dapat mempertahankan nilai IFT hingga hari ke 7.

Uji Kelakuan Fasa

Uji kelakuan fasa ditujukan untuk melihat performa larutan surfaktan *oil-based* dengan fluida air formasi dari lapangan X. Pada proses *oil well bore cleaning* larutan surfaktan diinjeksikan pada sumur, kemudian didiamkan (*soaking*) beberapa waktu dan setelah itu larutan surfaktan dan fluida dari *reservoir* dipompakan kembali melalui sumur yang sama. Pengamatan yang dilakukan adalah secara visual dengan melihat perubahan yang terjadi pada campuran surfaktan dengan fluida air formasi dari lapangan X.

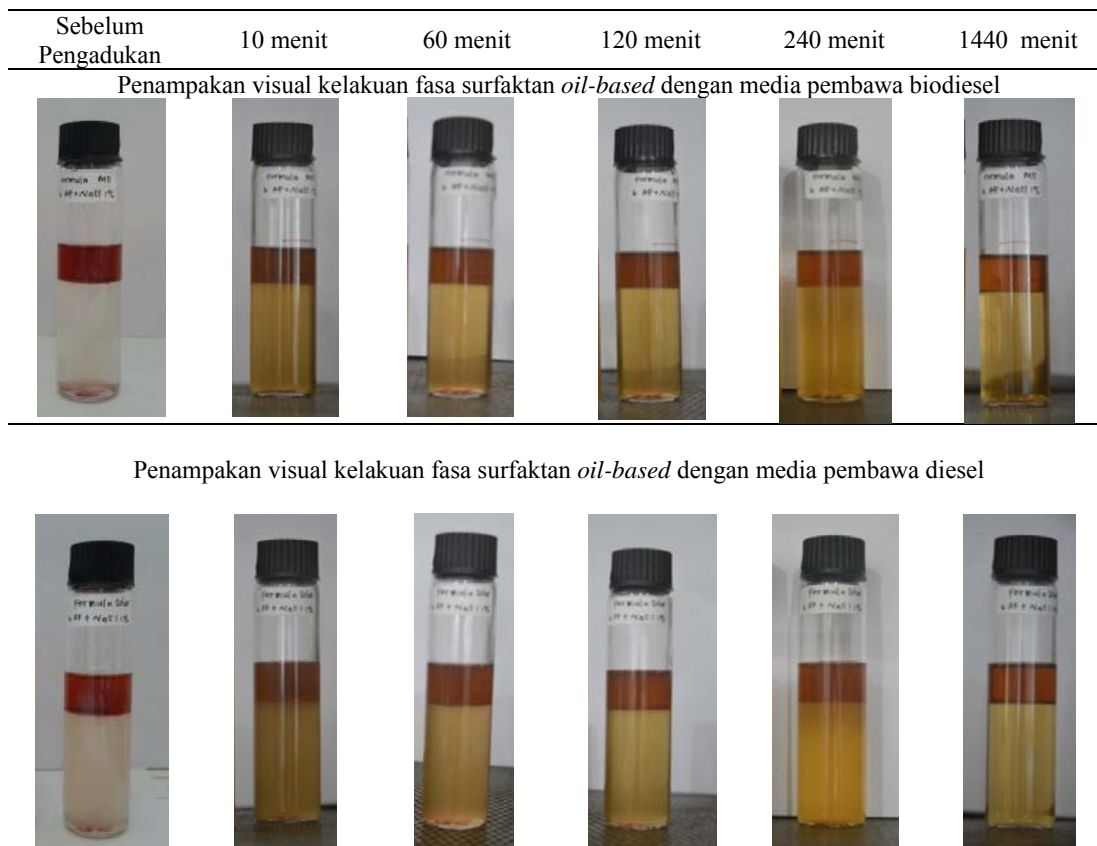
Hasil analisis kelakuan fasa dari formula surfaktan menunjukkan bahwa tidak terjadi emulsi pada kedua formula surfaktan dengan media pembawa biodiesel dan diesel namun air formasi mengalami perubahan warna menjadi keruh (Gambar 5). Keruhnya air formasi pada larutan formula surfaktan menunjukkan bahwa mikroemulsi cenderung berbaur dengan air formasi pada kedua formula surfaktan *oil-based* yang diujicobakan. Hasil ini memberikan penjelasan bahwa fase yang terbentuk adalah fase bawah atau disebut dengan tipe II(-). Untuk meyakinkan bahwa larutan surfaktan membentuk emulsi dengan air formasi, maka dilakukan uji IFT. Hasil uji IFT formula surfaktan *oil-based* dengan media pembawa diesel setelah dilakukan uji phase behaviour adalah $2,4 \times 10^{-2}$

dyne/cm dan formula surfaktan *oil-based* pembawa biodiesel sebesar $1,12 \times 10^{-2}$ dyne/cm.

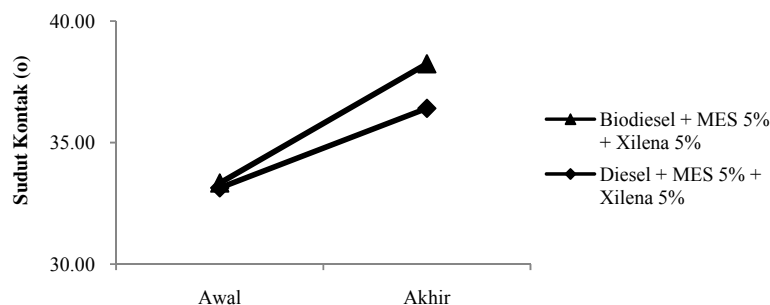
Uji Wettability

Wettability merupakan sifat kebasahan permukaan suatu batuan. Batuan yang bersifat *water-wet* cenderung lebih mudah dibasahi oleh air daripada minyak. Begitu juga sebaliknya batuan yang bersifat *oil-wet* cenderung lebih mudah dibasahi oleh minyak dari pada air. Perubahan *wettability* batuan secara umum diduga akibat adanya adsorpsi senyawa polar ke permukaan batuan (Tie dan Morrow, 2005). Lebih dari 80% *reservoir* karbonat/*limestone* bersifat *oil-wet* (Golabi *et al.*, 2012). Batuan yang bersifat *oil-wet* dapat menyebabkan minyak dengan mudah teradsorpsi pada permukaan batuan sehingga permeabilitas minyak menjadi menurun (Ahmadi *et al.*, 2014).

Kemampuan pembasahan ini diukur dari sudut kontak antara cairan dan padatan dalam hal ini minyak dengan batuan *reservoir*. Analisis sudut kontak/*wettability* ini dilakukan dengan penyesuaian kondisi sebenarnya di dalam *reservoir*. Kondisi *reservoir* awal adalah terendamnya batuan oleh air formasi dan minyak. Grafik perubahan sudut kontak formula larutan surfaktan yang dibuat disajikan pada Gambar 6.



Gambar 5. Hasil pengujian kelakuan fasa surfaktan *oil-based* dengan media pembawa biodiesel dan diesel



Gambar 6. Hasil analisis *wettability* minyak-batuan pada *reservoir sandstone* lapangan X

Perubahan sudut kontak formula surfaktan pada *reservoir sandstone* lapangan X, menunjukkan bahwa kedua formula surfaktan mengubah sifat batuan dari *oil-wet* menjadi cenderung *water-wet*. Hal ini ditunjukkan sudut kontak mengalami peningkatan dari sudut kontak awalnya yaitu 35,19° menjadi 38,24° pada formula dengan media pembawa biodiesel dan meningkat dari 33,14° menjadi 36,41° pada formula dengan media pembawa diesel Penelitian Zhang *et al.* (2006) menunjukkan bahwa pengaruh konsentrasi elektrolit, konsentrasi surfaktan, dan air / rasio minyak pada permukaan kalsit menjadi *water-wet* dengan surfaktan anionik. Keberadaan surfaktan dapat mengakibatkan pasangan ion pada formasi dapat bereaksi terhadap perubahan *wettability* karena gaya tolak elektrostatis antara gugus anionik dan muatan negatif komponen minyak yang teradsorpsi pada permukaan. Surfaktan dapat mengubah kebasahan batuan dengan membentuk *monolayer* surfaktan pada lapisan batuan yang dibasahi minyak. Adsorpsi surfaktan terjadi melalui interaksi hidrofobik dengan lapisan hidrokarbon yang teradsorpsi pada permukaan batuan, kemudian gugus hidrofilik dari surfaktan bergerak menuju larutan. Hal ini akan mengakibatkan formasi dilapisi oleh zona air dan membentuk tekanan kapiler yang lemah selama proses imbibisi. Proses ini akan terjadi secara berurutan pada surfaktan-minyak-daerah antarmuka batuan

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Konsentrasi surfaktan MES yang digunakan sebagai *oil well bore cleaning agent* adalah 5% diformulasikan penambahan xilena 5% dengan media pembawa biodiesel terhadap air formasi dengan penambahan NaCl sebanyak 1% merupakan formula terbaik untuk aplikasi *oil well bore cleaning* pada *reservoir* lapangan X. Pengujian formula *well bore cleaning* dengan media pembawa biodiesel tersebut menunjukkan bahwa formula masih dapat mempertahankan nilai IFT yang rendah sampai hari ketujuh, formula surfaktan *oil-based* membentuk mikroemulsi dengan nilai IFT $1,12 \times 10^{-2}$ dyne/cm,

dan formula surfaktan *oil-based* dapat mengubah sifat batuan dari *oil-wet* menjadi cenderung *water-wet*. Hasil ini menunjukkan bahwa media pembawa biodiesel dapat digunakan sebagai alternatif pengganti diesel sebagai media pembawa pada kegiatan *oil well bore cleaning*.

Saran

Penelitian formulasi surfaktan MES untuk aplikasi *oil well bore cleaning* dilakukan pada *reservoir sandstone* lapangan X, perlu penelitian lanjutan untuk penerapannya pada *reservoir limestone* atau lapangan lain.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Surfactant and Bioenergy Research Center – LPPM, IPB atas dukungan selama penelitian dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrahamsen EL. 2012. Organic Flow Assurance: Asphaltene Dispersant/Inhibitor Formulation Development through Experimental Design. [Thesis]. University of Stavanger, Norway.
- Ahmadi MA, Galedarzadeh M, Shadizadeh SR. 2014. Wettability alteration in carbonate rocks by implementing new derived natural surfactant: enhanced oil recovery applications. *Transport in Porous Med.* 106(3): 645-667.
- Allen TO dan Roberts AP. 1984. *Production Operation 2 : Well Completions, Workover and Stimulation*. Oil & Gas Consultants International (OGCI) Inc.USA.
- Aoudia M, Al-Shibli MN, Al-Kasimi LH, Al-Maamari R, Al-Bemani A. 2006. Novel surfactants for ultralow interfacial tension in a widerange of surfactant concentration and temperature. *J Surfac Deterg.* 9(3): 287-293. doi:10.1007/s11743-006-5009-9.
- Chen C, Guo J, An N, Pan Y, Li Y, Jiang Q. 2012. Study of asphaltene dispersion and removal

- for high-asphaltene oil wells. *Pet. Sci.* 9(4): 551-557.
- Curbelo FDS, Santanna VC, Neto ELB, Dutra TV, Dantas TNC, Neto AAD, Garnica AIC. 2007. Adsorption of nonionic surfactants in sandstones. *Colloids and Surfaces A: Physicochem Eng Aspects.* 293(1-3): 1-4.
- Golabi E, Azad FS, Ayatollahi SS, Hosseini SN, Dastanian M. 2012. Experimental study of anionic and cationic surfactants effects on reduce of ift and wettability alteration in carbonate rock. *IJSER.* 3(7): 1050-1053.
- Hardikin MI, Indriyono ES, dan Hariyono. 2009. Perendaman Paraffin Solvent Sebagai Upaya Peningkatan Produksi Sumur Minyak di Lapangan Tapisan Timur. Makalah Simposium Nasional IATMI 2009. Bandung, Indonesia. 2-5 Desember 2009.
- Healy RN dan Reed RL. 1974. Physicochemical Aspects of Microemulsion Flooding. *Soc Petrole Eng J.* 257: 491-501.
- Hutchison JC, Wolfe PS, Waldman TE, Ravikiran R. 2010. *Sulfonated Internal Olefin Surfactant for Enhanced Oil Recovery.* US Patent No. 2010/0282467 A1. www.uspto.com.
- Junior LCR, Ferreira MS, dan da Silva Ramos AC. 2006. Inhibition of asphaltene precipitation in Brazilian crude oils using new oil soluble amphiphiles. *J Petrol Sci Eng.* 51(1-2): 26-36.
- Karnanda W, Benzagouta MS, AlQuraishi A, Amro MM. 2012. Effect of temperature, pressure, salinity, and surfactant concentration on ift for surfactant flooding optimization. *Arab J Geosci.* 6(9): 3535-3544.
- Kalfoglou, G. 1982. Modified Lignosulfonates as Additives in Oil Recovery Processes Involving Chemical Recovery Agents. US Patent No. 4,344,487. www.uspto.com.
- Ortiz DP, Baydak EN, Yarranton HW. 2010. Effect of surfactants on interfacial films and stability of water-in-oil emulsions stabilized by asphaltenes. *J Colloid Interface Sci.* 351(2): 542-555.
- Quintero L, Jones TA, dan Gianna A. 2012. Proper design criteria of microemulsion treatment fluids for enhancing well production. *Spe Reservoir Engineering Paper, SPE 144451.* doi:http://dx.doi.org/10.2118/154451-MS
- Secombe JC, Lager A, Webb K, Jerauld G, Fueg E. 2008. Improving Waterflood Recovery: LowSal TM EOR Field Evaluation. *SPE Document ID 113480.* doi: http://dx.doi.org/10.2118/113480-MS
- Smith GA, Ashrawi SS, Smadi RM, Anantaneni PR. 2005. *Solid Alkylbenzene Sulfonates and Cleaning Compositions Having Enhanced Water Hardness Tolerance.* US Patent No. 6,887,839 B2. www.uspto.com.
- Webb KJ, Black CJJ, dan Al-Ajeel H. 2004. Low Salinity Oil Recovery - Log-Inject-Log. *SPE Document ID 89379-MS.* doi:http://dx.doi.org/10.2118/89379-MS
- Zhang DL, Liu S, Puerto M, Miller CA, Hirasaki GJ. 2006. Wettability alteration and spontaneous imbibition in oil-wet carbonate formations. *J Petrol Sci Eng.* 52(1-4): 213-226.
- Zhang F, Ouyang J, Hong L, Xinfang Feng, Zhang H. 2011. Inhibition of Deposits of High-Molecular Weight Paraffins in Oil Wells. *Chem Technol Fuels Oils.* 47(1): 53-57.